

11/949

Kobrinskij, A.E., Kobrinskij, A.A., Korenjasev, A.I., Salamandra, B.L.

(Institut für Maschinenbauwesen, Moskau, UdSSR)

ZUM PROBLEM DER HERSTELLUNG VON SENSIBILISIERTEN ROBOTERN

Übersetzung aus:

Fourth world Congress on the Theory of Machine and Mechanism Newcastle, September 1975. Institution of Mechanical Engineers. London, 1975, S. 423-428.

Russ.: К ПРОБЛЕМЕ СОЗДАНИЯ ОЧУВСТВЛЕННЫХ РОБОТОВ

K probleme sozdanija očuvstvlennyh robotov

Zusammenfassung:

Untersucht wird der gegenwärtige Stand in der Erarbeitung von sensibilisierten Industrierobotern; ein neues Informationssystem für Roboter, das auf der Verwendung einer sensibilisierten Oberfläche beruht, wird beschrieben. Es werden Beispiele von wissenschaftlichen Problemen angeführt, welche man mit Hilfe des neuen Sensibilisierungssystems lösen kann, und es werden die Möglichkeiten ihrer technologischen Anwendung aufgezeigt.

Einleitung

Innerhalb der letzten Jahre werden aktiv Arbeiten zur Herstellung von Robotern durchgeführt: einer neuen Klasse von Automaten, die von Computern gesteuert werden, mit künstlichen Sinnesorganen ausgestattet sind und infolgedessen die Möglichkeit besitzen, sich unter den Bedingungen eines nicht völlig bestimmten Mediums zu bewegen und zu arbeiten.

Die Forschungsarbeiten, welche auf diesem Gebiet in der UdSSR, den USA, in Japan, der BRD und in anderen Ländern durchgeführt werden, finden Anwendung in Systemen, die nach annähernd den gleichen Grundschemas aufgebaut sind. Die Roboterfunktionen führt der Manipulator eines beliebigen Laufgestells aus. Als Sinnesorgane dienen Gebersätze, die auf Berührung mit einem Objekt der Umwelt reagieren (Künstlicher Tastsinn), und eine Fernsehkamera mit Vorrichtungen zur Informationsverarbeitung (Künstliches Sehen). Die taktile und optische Information, welche von den Sinnessystemen gespeichert wird, benutzt der steuernde Computer zur Bewerkstelligung von zielgerichteten Bewegungsakten.

Dieses Schema leidet unter dem Mangel, daß die Informationsqualitäten von modernen Systemen der künstlichen Sensibilisierung (ihre Entscheidungsfähigkeit und dynamischen Charakteristiken) nicht den Bewegungsmöglichkeiten entsprechen, die sogar relativ einfachen Roboterkonstruktionen zugrunde liegen. Das Mißverhältnis zwischen den Bewegungs- und den Informationsmöglichkeiten solcher Systeme führt dazu, daß sich der steuernde Computer hauptsächlich als "Anhängsel" zu den Sensibilisierungssystemen erweist, und daß seine "Fähigkeit" zur Aufstellung von Bewegungsakten äußerst begrenzt ist.

In biologischen Systemen, denen die Systeme von Typ der Roboter annähernd ähnlich sind, ergibt sich ein direkt entgegengesetztes Bild: die Vorgänge der Informationsspeicherung und -verarbeitung sind dort so vollkommen und laufen so schnell ab, daß

sie es ermöglichen, praktisch völlig die Bewegungsmöglichkeiten des Organismus zu erschöpfen.

So ist ersichtlich, daß die Hauptrichtung in der Vervollkommnung von sensibilisierten Robotern das Ziel verfolgen muß, das besagte Mißverhältnis abzubauen. Im Zusammenhang damit erscheint es zweckmäßig zu sein, einen sensibilisierten Roboter zu konstruieren, der seinen Bewegungsmöglichkeiten entspricht, d.h. daß somit die Zeit für die Informationsspeicherung durch seine Sinnesorgane ausreichend kurz, und der Informationsgehalt ausreichend vollständig ist, um einen künstlichen Intellekt herzustellen, der mit der Lösung von vielfältigen Bewegungsaufgaben verbunden ist, welche dem Roboter gestellt werden können.

Nachfolgend wird der heutige Stand im Problem der sensibilisierten Roboter analysiert und eine neue Arbeitsrichtung zur Herstellung von Informationssystemen formuliert, welche es ermöglichen, die Zeit für die Speicherung und Verarbeitung der Information über das äußere Medium, in dem Roboter arbeitet, wesentlich zu verkürzen.

Das System "Roboter - Objekt - Medium"

Die modernen Industrieroboter, welche zum Zwecke der Automatisierung in den verschiedensten Produktionsbereichen breite Anwendung finden [1], werden von Systemen gesteuert, die innere Rückkoppelungen miteinschließen, doch auf keine Weise bezüglich des äußeren Mediums, bezüglich der Tastobjekte sensibilisiert sind. Dieser Umstand führt zu der Forderung, daß das äußere Medium so gut und "starr" organisiert sein sollte, wie es für den Roboter, der nach einem im Arbeitsvorgang unveränderlichen Programm arbeitet, notwendig ist.

Schon seit mehr als 10 Jahren werden Arbeiten zur Steigerung der Funktionalität, zur Herstellung von Entwürfen und Modellen und zur Untersuchung des "Verhaltens" von "sensibilisierten"

Robotern durchgeführt, die die Fähigkeit besitzen, die Information über die Eigenschaften und den Zustand des äußeren Mediums, über die Charakteristiken der Objekte aufzunehmen und diese Information während der Durchführung des aufgegebenen Bewegungs- und Handlungsprogramms zu nutzen.

Es ist ersichtlich, daß das Funktionalitätsniveau eines Roboters und das Organisationsniveau des Mediums, die für eine effektive Wechselwirkung im System "Roboter - Objekt - Medium" notwendig sind, untrennbar miteinander verbunden sind. Eine Steigerung der Funktionseigenschaften des Roboters erlaubt es, sich weniger um die Organisation des äußeren Mediums zu kümmern, solange dieses künstlich geschaffen wird (Industrieproduktion), und im weiteren Verlauf, bei Erreichung eines gewissen Funktionalitätsniveaus, Roboter unter Verhältnissen einzusetzen, die natürlichen nahekommen oder natürlich sind.

Ohne noch genauer auf das Verhältnis zwischen dem Funktionalitätsniveau eines Roboters und dem Organisationsniveau des Mediums einzugehen, sei bemerkt, daß zwei dieser Faktoren die Haupteigenschaft eines Roboters als Automaten bestimmen: seine Autonomie, d.h. seine Fähigkeit zur Bildung "vernünftiger" Bewegungen und zur Lösung von Bewegungsaufgaben dieser oder jener Kompliziertheit ohne unmittelbare Mitwirkung des Menschen.

Es ist ebenfalls ersichtlich, daß das Autonomieniveau eines Roboters bei den übrigen gleichen Bedingungen mit der "Kapazität" der Informationsmittel, die ihm zur Verfügung stehen, mit den Eigenschaften und Charakteristiken der künstlichen Sinnesorgane, mit denen er ausgerichtet ist, verbunden ist.

Sensibilisierungssysteme

Der gegenwärtige Stand der technischen Möglichkeiten und dementsprechend der theoretischen und experimentellen Erarbei-

tungen im Bereich der sensibilisierten Roboter ist bislang noch durch die Herstellung von solchen Modellen begrenzt, die fähig sind, nur unter der Bedingung eines speziell organisierten Mediums zu funktionieren. Gleichzeitig kann der Mensch, der das Richtmaß für Geräte vom Typ Roboter ist, zielgerichtet unter den Bedingungen eines weit weniger organisierten Mediums arbeiten, da er die Möglichkeit hat, mit Hilfe der Sinnesorgane und des zentralen Nervensystems Information über die Außenwelt und die Arbeitsobjekte zu speichern, sie zu verarbeiten und mit Vernunft eine Bewegung auszuführen.

Die Sinnesorgane, die den Bewegungsfunktion des Menschen dienen, kann man unabhängig von ihrer Beschaffenheit und den Mechanismen bedingt in zwei Gruppen einteilen: 1) welche Informationsspeicherung nur im Bewegungsvorgang verwirklichen (z.B. der Tastsinn); 2) welche in der Lage sind, Information unabhängig von den Bewegungsvorgängen zu sammeln (z.B. das Sehen, der Geruchssinn, das Gehör).

Die "Sinnesorgane" der modernen Roboterkonstruktionen entsprechen in diesem Sinne den Sinnesorganen des Menschen. Was jedoch die Vollkommenheit der künstlichen Sensibilisierungssysteme betrifft, so geben davon die folgenden Beispiele einen Eindruck.

In der ersten der bekannten Konstruktionen eines sensibilisierten Roboters ("Ernst's Hand") wurde ein Sensibilisierungssystem verwendet, das auf Berührung reagiert [4]. Ernst's Hand ist ein Manipulator, der von einem Computer gesteuert wird und eine sensibilisierte Zange besitzt. Die obere, untere und äußere Fläche eines jeden der beiden Zangenfinger ist mit Kontaktgebern ausgerüstet, die nach dem binären Kode arbeiten: ein - aus. Diese Geber signalisieren, daß die Hand mit den nicht arbeitenden Abschnitten auf ein Objekt gestoßen ist. Auf den Innen- und Vorderflächen eines jeden Fingers befinden sich 8 Geber; jeder davon arbeitet nicht mehr nach dem binären Kode, sondern erzeugt ein Signal, dessen Stärke proportional ist zur Druckkraft auf den Geber; 6 Geber sammeln die Information darüber,

welche Fingerabschnitte an der Zange beteiligt sind und mit welcher Kraft die Finger das Objekt fassen. Zwei Geber auf der vorderen Stirnfläche eines jeden Fingers registrieren die Kraft, mit der das Objekt berührt wird, auf das der Finger stößt, indem sie eine indirekte Information darüber vermitteln, was dieses Objekt darstellt; wenn diese Kraft beim Druck größer ist als eine bestimmte Maximalkraft, dann wird das Objekt als unbeweglich angesehen.

An den vorderen Stirnflächen eines jeden Fingers von Ernsts Hand ist eine Photodiode angebracht, die auf Schatten reagiert, welche von den sie umgebenden Objekten ausgehen. Auf diese Weise ist zusammen mit dem künstlichen Tastsinn in der Ernst-Hand in rudimentärster Form die Möglichkeit vorhergesehen, auf kontaktlosem Wege Information aufzunehmen. Ungefähr auf die selbe Weise wurde auch die Sensibilisierung des Roboters vom Leningrader Polytechnischen Institut durchgeführt [2].

In diesen Konstruktionen wird der Roboter bei der Aufstellung seiner Bewegungen außer durch das vorgegebene Programm auch durch die Information gesteuert, die von den Gebern übertragen wird. Im System ist der Prozess der Informationsspeicherung untrennbar mit der Zangenbewegung verbunden. Die Wahrnehmung von Gegenständen, deren Lage nicht durch das Programm vorgegeben ist, das Umgehen von Hindernissen, deren Lage im voraus nicht bestimmt war, - alle diese Operationen werden "blind" ausgeführt und sind mit großem Zeitverlust verbunden und der Unmöglichkeit, ein Bewegungsvolumen durchzuführen, das unvergleichbar größer ist als bei zielgerichteten Handlungen.

An dieser Stelle müssen jedoch die nicht allgemein bekannten Beschränkungen eines solchen Sensibilisierungsverfahrens erwähnt werden, hauptsächlich Beschränkungen bezüglich der Möglichkeiten, das Verhalten eines tastenden Roboters zu simulieren, die infolge der Unvollkommenheit des Sensibilisierungssystems selbst auftreten. Die Geber überdecken nur einen kleinen Teil der ganzen Zangenoberfläche und simulieren nur sehr grob den Ef-

fekt einer natürlichen Hautempfindlichkeit.

Gegenwärtig werden Programme durchgeführt, die die Herstellung von Robotermodellen zum Ziel haben, welche neben einem geeigneten Tastsinn auch das "Sehen" beherrschen sollen [3, 5 - 7]. Eine bedeutende Stellung nehmen in diesen Programmen die Untersuchungen ein, die mit der Herstellung von Geräten zum künstlichen Sehen verbunden sind. Der Roboter "verkehrt" mit der Außenwelt, indem er nicht nur "taktile" Empfindungen einsetzt, sondern auch die visuelle Information verwendet.

Bei diesen Robotern sind gewöhnlich wie bei Ernsts Hand alle beweglichen Gelenke mit Gebern versehen, die die Stellung der Glieder während ihrer Bewegungen registrieren; diese Information gelangt in einen Computer. Die Arbeitszone der Zange befindet sich im "Gesichtsfeld" einer Fernsehkamera. Die von dieser aufgenommene Information wird ebenfalls vom Computer verarbeitet, und je nach den Ergebnissen dieser Verarbeitung und dem vorgegebenen Programm erzeugt er Signale zur Steuerung der Antriebe, die die Bewegung der mechanischen Hand vollziehen. Wenn künstliche Sehsysteme vorhanden sind, dann kann bei der Lösung dieser oder jener Bewegungsaufgabe anstelle der Blindsuche eine zielgerichtete Aktion durchgeführt werden. Gerade dieser Umstand erlaubt es, von diesen Robotern, die mit einem System zum "Sehen" ausgestattet sind, zu sagen, daß sie vollendeter seien als vergleichsweise die "sensibilisierten" Roboter.

Nach beinahe demselben Schema ist der Stanford-Roboter sensibilisiert [6]; er stellt einen automatisch steuerbaren Wagen dar, der mit Tast- und Sehgeräten ausgestattet ist. Auch hier hat die Fernsehkamera die Funktion des Sehorganes. Aus der von ihr gesammelten Information werden nur jene Besonderheiten ausgewählt, die zur Erkennung der Objekte mit den schon vorher bekannten Eigenschaften verwendet werden können, z.B. die Erkennung von Würfeln und Prismas. Dafür wird der Vorgang der räumlichen Differenzierung verwandt, infolgedessen im Computer-

gedächtnis nur die Zonen mit Beleuchtungs"sprüngen" festgehalten werden. Auf diese Weise gelingt es, Lage und Orientierung allein jener Objekte zu bestimmen, die stark ausgeprägte Beleuchtungsunterschiede in den verschiedenen Abschnitten besitzen. Der einmalige Akt der Informationssammlung und der Identifizierung dieser Objekte verlangt ziemlich viel Zeit.

Damit zusammenhängend ist es angebracht, einige Zahlen aus einer Arbeit [3] anzuführen, in der darauf hingewiesen wird, daß für die Verarbeitung der Information über drei relativ einfache Einzelteile vom Typ "Würfel" oder "Prisma", die mit Hilfe einer Fernsehkamera gewonnen wurde, 240 Sek. benötigt werden. Wenn dabei die Aufgabe der Informationssammlung gelöst wird, so werden für die Erkennung der Aufbaukontur 20 Sek. benötigt; für die Erkennung eines jeden Einzelteils 50 Sek.; für die Auflösung 10 Sek. und für die Ausführung der Arbeitsbewegungen des Roboters beim Informationssammeln 180 Sek. Auf diese Weise beträgt das Verhältnis zwischen der Zeit zur Ausführung einer Bewegung für ein Einzelteil und zwischen der Zeit für die Informationsverarbeitung in diesem Fall 1 : 5. Dies schränkt die tatsächliche Schnelligkeit eines sensibilisierten Roboters wesentlich ein und nimmt ihm die Möglichkeit, in einer sich dynamisch verändernden Situation zu fungieren.

Die Beseitigung eines derartigen Mißverhältnisses ist möglich durch Steigerung der Kapazität der in Anwendung kommenden Rechenmittel. Gegenwärtig ist eine derartige Möglichkeit jedoch schnell erschöpft. Am aussichtsreichsten ist in dieser Richtung die Vervollkommnung der Informationssysteme eines Roboters.

Zwei Probleme bei der Herstellung von sensibilisierten Robotern

Wenn man den gegenwärtigen Stand der Arbeiten zur Sensibilisierung analysiert, dann kann man zwei wissenschaftliche und technische Hauptprobleme aufstellen.

1. Erarbeitung und Vervollkommnung der künstlichen Sinnesorgane, Untersuchung ihrer Entscheidungsfähigkeit, ihrer Informationscharakteristiken und dynamischen Eigenschaften.
2. Untersuchung der Bewegungsfunktionen, Verhaltenseigenarten und der extremen Möglichkeiten eines Roboters, der mit einer genügend entwickelten Sensibilisierung ausgestattet ist.

Offensichtlich sind diese beiden, im Kern unterschiedlichen Probleme letzten Endes untrennbar miteinander verbunden. Gleichzeitig erzeugt ihr enger Zusammenhang einen wesentlichen Widerspruch, der an den bereits ausgeführten Entwürfen und Modellen, von denen an den oben angeführten Beispiel die Rede war, zutage tritt. Das Wesen dieses Widerspruches besteht darin, daß die Unvollkommenheiten der existierenden Sensibilisierungssysteme die Möglichkeiten zur Untersuchung und Vervollkommnung der Bewegungsfunktionen und Verhaltenseigenarten eines Roboters stark einschränken und die Möglichkeit ausschließen, irgendwie geartete komplexe Prozesse in seiner Interaktion mit unbeweglichen und noch beweglicheren Objekten zu bewerkstelligen. Diese Umstände erzeugen ihrerseits einen geschlossenen Kreis, wodurch die Aufstellung der technischen Voraussetzungen zur Herstellung von effektiven Sensibilisierungsmitteln äußerst erschwert wird.

In der gegenwärtigen Entwicklungsphase der Roboter-Technik ist es methodisch richtig, die oben formulierten Probleme voneinander zu trennen; dies liefert die Möglichkeit, jene Beschränkungen auszuschließen, die dabei entstehen, wenn man sie gleichzeitig zu lösen versucht. Und gerade jene Richtung der wissenschaftlichen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Roboter-Technik wird in diesem Artikel dargelegt. Sie basiert auf einem neuen Sensibilisierungsprinzip, das die Analogie zur Netzhaut des lebenden Auges ausnutzt. Dieses Prinzip wird in dem weiter

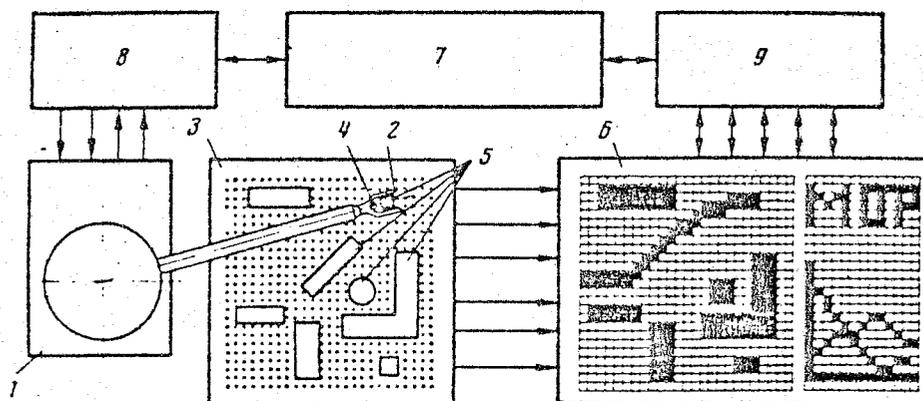
untersuchten Modell eines sensibilisierten Roboters durchgeführt.

Modell eines sensibilisierten Roboters

Unter dem Modell eines sensibilisierten Roboters wird ein System verstanden, von dem eines der Teile eine mechanische Hand darstellt, die von einem Computer gesteuert wird. Den anderen Teil dieses Modells bildet die sogenannte Informationsoberfläche, die ein grobes Analogon zur Netzhaut des lebenden Auges darstellt. Die Informationsoberfläche kann z.B. durch ein System von Fühlern gebildet sein, welche auf die Anwesenheit von Objekten im Aktionsbereich des Roboters reagieren. Innerhalb der Informationsoberfläche kann man das Verhalten des Roboters studieren, d.h. seine mechanischen Bewegungen und seine Wechselwirkung mit dem Medium und den Tastobjekten, und kann eine große Klasse von Bewegungsaufgaben lösen, welche die Verwendung von verschiedenen Sensibilisierungsmethoden und -eigenschaften berühren. Das Strukturschema des Modells ist in der Zeichnung dargestellt und schließt drei Systeme ein; das Bewegungs-, das Informations- und das Steuersystem.

Das Bewegungssystem des Modells ist in Form einer mechanischen Hand mit einigen Freiheitsgraden ausgeführt. Jedes ihrer beweglichen Glieder ist mit einem Eigenantrieb ausgerüstet, der die Steuersignale vom Computer erhält. Die beweglichen Gelenke sind mit Gebern versehen, welche die jeweiligen Winkelstellungen eines jeden von zwei benachbarten Gliedern registrieren. Diese Information kann zum Zwecke der Durchführung einer Bewegung, wie sie vom Programm vorgegeben ist, zur Kontrolle, ob diese Bewegung ausgeführt wird, und für andere Zwecke benutzt werden.

Die physikalische Simulierung des Bewegungssystems ist nach folgenden Vorstellungen sinnvoll.



Blockschema des Modells eines sensibilisierten Roboters. 1 - mechanische Hand; 2 - Zange; 3 - Informationsoberfläche; 4 - Zangenfühler; 5 - Objekte; 6 - Bildschirm zur Informationswiedergabe; 7 - Steuercomputer; 8 - Gerät zur Kopplung des Computers mit der mechanischen Hand; 9 - Gerät zur Kopplung des Computers mit dem Bildschirm.

a) Die mathematische Simulierung eines realen mechanischen Systems bietet Schwierigkeiten. Seine Besonderheiten, wie vorhandene Zwischenräume und Spielräume, Elastizität der Glieder, wechselseitige Reibung der Bewegungspaare, entziehen sich jeglicher genauen Beschreibung, wie auch die Charakteristiken der realen Antriebe, von denen alle beweglichen Gelenke betrieben werden.

b) Das physikalische Modell besitzt ausgezeichnete Anschaulichkeit. Dies ist besonders wichtig, wenn neben oder mit dem Computer der Mensch als Bedienungskraft zur Steuerung herangezogen wird. Eine solche Möglichkeit ist im beschriebenen Modell vorgesehen.

c) Die Untersuchung des physikalischen Robotermodells in den verschiedenen technologischen Situationen gestattet es, die spezifischen Bewegungseigenarten, welche dem Ausführungssystem durch

seine "natürlichen" mechanischen Eigenschaften aufgezwungen sind, aufzuzeigen und diese Besonderheiten bei der Konstruktion von realen Systemen zu berücksichtigen.

Das I n f o r m a t i o n s y s t e m des Modells erfüllt einige Funktionen. Vor allem wird es zur Simulierung des Mediums, in welchem der Roboter agiert, und zur Herstellung der gewünschten Situation eingesetzt. Dann erfüllt das Informationssystem die Funktion der Robotersensibilisierung und der Simulierung der Sinnesorgane, welche die vorgegebenen Eigenschaften und charakteristischen Merkmale besitzen. Schließlich wird es als Informationsquelle eingesetzt, welche über die Durchführung der Bewegungsakte des Roboters selbst wie auch jener beweglichen Objekte, mit welchen er während der Lösung dieser oder jener Bewegungsaufgabe zusammenwirkt, Auskunft gibt.

Die wichtigste Besonderheit des dargelegten Modell-Informationssystems besteht darin, daß es ein Gerät ist, das die Möglichkeiten der physikalischen und mathematischen Simulierung besitzt.

Das System besteht aus der Informationsoberfläche und dem Bildschirm zur Wiedergabe der Situation, in der der Roboter arbeitet.

In der dargestellten Variante stellt die Informationsoberfläche eine sensibilisierte Fläche dar, die aus einem Gitter elektrisch aktiver Punkte besteht. Die Punktverteilungsdichte wird durch die vorgegebene Reproduktion der Bewegungsakte des Tasters und die Konstruktionsbesonderheiten des Modells bestimmt.

Alle Elemente der Situation, in der der Roboter arbeitet, stellen sich auf der Informationsoberfläche in Form von physikalischen Objekten ein, infolgedessen die entsprechenden Fühlerpunkte aktiviert werden. Die Informationsoberfläche ist elektrisch mit einem Bildschirm verbunden, auf dem die Situation im Arbeitsbereich des Roboters wiedergegeben wird.

Das S t e u e r s y s t e m des sensibilisierten Roboters umfaßt einen Computer mit Bedienungspult und Geräte zur

Koppelung des Computers mit dem Bildschirm und dem Roboter. Die Besonderheit des Steuersystems besteht darin, daß die Bedienungsperson nach Wunsch nicht nur auf den Ablauf der Programmdurchführung, das in den Computer eingegeben ist, sondern auch auf den Zustand, die Eigenschaften des Mediums und der Tastobjekte, wie auch auf die Eigenschaften und charakteristischen Merkmale der Robotersensibilisierung einwirken kann.

Arbeit und Wechselwirkung der Modellsysteme

Das Bewegungs-, Informations- und Steuersystem des Modells arbeiten und wirken folgendermaßen zusammen. Die Information über die Stellung der Objekte, der Hindernisse und über ihre Anordnung (Situation im Arbeitsraum des Roboters) wird, wie bereits erwähnt, von den Fühlgliedern der Informationsoberfläche festgehalten, auf dem Bildschirm wiedergegeben, mittels der Koppelungsgeräte vom Bildschirm abgelesen und im Computer verarbeitet.

Zwischen dem Computer und dem Roboter besteht eine zweiseitige Verbindung; vom Roboter zu den Antrieben werden über die Koppelungsgeräte Steuersignale übertragen, und von den Stellungsgebern der Antriebe (in der Abbildung nicht dargestellt) gelangt in den Computer die Information über die tatsächliche Stellung der Zange.

Entsprechend der gestellten Aufgabe, dem angewandten Steueralgorithmus und unter Verwendung der Information über die Situation im Arbeitsraum des Computers, arbeitet der Computer die Steuereinflüsse auf die Antriebe aus. Dabei verwirklicht der Roboter zielgerichtete Handlungen und löst die gestellte Bewegungsaufgabe.

Das System der Fühlerpunkte auf der Informationsoberfläche stellt ein äußerst vereinfachtes System künstlichen Sehens für den Roboter dar und gestattet ihm, auf geeignetste Weise die

Situation, in der er agiert, und alle ihre Veränderungen wahrzunehmen. Diese Information kann der Roboter bis zur Ausführung einer Bewegung sammeln, und folglich ist er in der Lage, "vernünftig" und zielgerichtet zu handeln.

Die Informationsoberfläche kann man nicht nur als Systeme des künstlichen "Schwarz-Weiß-Sehens" verwenden. Mit Hilfe des Computers kann man die Eigenschaften der Fühlerpunkte des Gitters differenzieren, ihnen diese oder jene Werte zuschreiben, womit auf diese Weise dem Roboter die unterschiedlichsten Informationsfähigkeiten vermittelt werden.

Die vom Roboter gesammelte Information gelangt entsprechend den Eigenschaften seiner Sinnesorgane in das Computergedächtnis und wird dort operativ verarbeitet. Dabei ist die Möglichkeit gewährleistet, die mechanische Hand im realen Zeitmaßstab zu steuern und die Bewegungseigenarten und charakteristischen Merkmale des sensibilisierten Roboters in den unterschiedlichsten Situationen zu studieren.

Die Situation kann man nicht nur durch Auflegen von physikalischen Objekten auf die Oberfläche herstellen. Die Fühlglieder kann man auch mit Hilfe eines speziellen "Bleistifts" aktivieren, wie auch auf programmatische Weise vom Computer aus. Die Herstellung einer Situation ist auch durch Kombination aller oben aufgezählten Verfahren möglich.

Wenn man durch die programmtechnische Weise diese oder jene Mengen von Fühlerpunkten miteinbezieht, kann man auf der Informationsoberfläche die verschiedensten "Situationen aufbauen", wobei die Stellung der Objekte, mit denen die Zange zusammenarbeiten muß, die Hindernisse, die sie umgehen muß, und dgl. aufgezeigt werden. Eine auf diese Weise kombinierte Situation kann auf eine vorgegebene Art und Weise im Laufe der Zeit verändert werden, indem man einige dynamische Situationen usw. simuliert.

Es muß betont werden, daß der Bildschirm die funktionalen Möglichkeiten des sensibilisierten Roboters beträchtlich erweitert. Er ist ein notwendiges Element in der Überwachung und

Steuerung des Roboters aus der Distanz [Supervisory distance operation]. In diesem Fall sind der Steuer-Computer und der Bildschirm vom Arbeitsbereich des Roboters entfernt, und die hinter dem Steuerpult des Computers sitzende Bedienungsperson, die auf dem Bildschirm die Situation im Arbeitsbereich der mechanischen Hand verfolgt, kann zu einem beliebigen Zeitpunkt in den Ablauf der Bewegungsausführungen eingreifen; sie kann dem Roboter auch neue Aufgaben stellen und auf programmtechnische Weise eine Veränderung der Situation auf der Informationsoberfläche simulieren. Letzteres wird in der Regel bei der Ausarbeitung neuer Steuerungsalgorithmen notwendig.

Außerdem kann der Bildschirm als schnelles Ausgabewerk benutzt werden. Bei entsprechender mathematischer Absicherung kann man auf dem Bildschirm verschiedene Texte, graphische Darstellungen und Rechenergebnisse über die Betriebskennlinien des sensibilisierten Roboters ausgeben. In der Abbildung illustriert der rechte Abschnitt des Bildschirms die besagten Möglichkeiten.

Es muß hinzugefügt werden, daß der Bildschirm konstruktionsmäßig mit einer Elektronenröhre (Display) oder mit diskreten Elementen bestückt werden kann, z.B. mit Kaltkatodenthyratronen. In diesem Fall besitzt der Bildschirm ein Gedächtnis, was es ermöglicht, das operative Gedächtnisvolumen des Computers zu verkleinern und Information über die Verschiebungswege der beweglichen Objekte der Situation zu sammeln. Insbesondere können die Bewegungsabläufe der Zange der mechanischen Hand festgehalten werden.

Die oben aufgezählten Möglichkeiten des Modells eines sensibilisierten Roboters lassen uns eine Menge von Bewegungs- und Steuerungsaufgaben aufstellen, die es sich zum Ziel setzen, sowohl die Besonderheiten, die vom Roboter durchzuführenden Operationen zu studieren als auch beste Steuerungsalgorithmen und Konstruktionen von sensibilisierten Robotern herzustellen. Unten wird eine bei weitem nicht vollständige Liste einiger Aufgaben in statischer und dynamischer Problemstellung aufgeführt,

die in dem beschriebenen Modell eines sensibilisierten Roboters relativ einfach zu lösen sind.

Beispiele

1. Objektsuche und -übertragung auf den vorgegebenen Bereich der Informationsoberfläche. Wenn das Objekt unbeweglich ist, dann wird die Aufgabe durch Abfragen der Informationsoberfläche gelöst, die Lösung wird nach der Übereinstimmung der Sollkoordinaten mit den erreichten Koordinaten überprüft. Wenn sich das Objekt auf der Informationsoberfläche bewegt, dann wird eine Spielsituation untersucht, bei der der Roboter nach den Bewegungscharakteristiken des Objekts eine Strategie im Verschieben der Zange erarbeiten muß, wobei die Strategie die Gewähr gibt, daß das Ziel erreicht und die gestellte Aufgabe gelöst wird.

2. Suche eines Objektes mit bestimmter Gestalt zwischen mehreren in der Form unterschiedlichen Objekten. Die Aufgabe wird analog zur vorhergehenden gelöst, jedoch mit Identifizierung der Objekte, die auf der Informationsoberfläche liegen. Die Identifizierung kann man entweder durch Abfragen der Informationsoberfläche und Selektion aller darauf befindlichen Objekte durchführen oder durch programmierte "Überlagerung" mit der bestimmten Kontur auf die Gestalt des Objekts, das sich auf der Informationsoberfläche befindet, oder durch Vergleichen ihrer geometrischen Charakteristiken (der Fläche oder des Umfangs der Kontur).

3. Bewegung des Roboters im Raum mit unbeweglichen oder beweglichen Hindernissen. Die Aufgabe wird durch Abfragen der Informationsoberfläche und Beurteilung der Stellung der Roboterzange und ihrer Glieder gelöst.

4. Aufgabe der Ermittlung und Durchführung der in einem bestimmten Sinne besten Bewegungsbahnen der Zange in einem Labyrinth.

5. Aufgabe der Zusammenstellung (Auslese) gewisser einfacher Konstruktionen aus Blöcken mit gleicher und unterschiedlicher Höhe. Im letzteren Fall muß der Roboter nach dem Programm die Blöcke kanten und sich ihre Projektionsgestalt auf der Informationsoberfläche merken. Nach der auf diese Weise gewonnenen Information wird die Identifikation der Elemente der Zusammenstellung durchgeführt.

6. Aufgabe der Ausführung verschiedener Operationen mit Objekten, an die äußere Beziehungen angelegt sind (Einführen eines Stabes in einen Schlitz, Anziehen eines Gewindes und dgl.).

7. Aufgabe der Simulierung von solchen Robotersinnen wie den Geruchssinn und das Gehör. Dies wird gelöst, indem den Objekten auf der Informationsoberfläche Gewichtsfaktoren zugeschrieben werden; dies kennzeichnet die Leistung der Geruchs- und Gehör-"quellen". Dabei wird das Verhalten des Roboters durch die Abstandsfunktionen der Zange von der "Quelle" bestimmt.

Es ist nicht schwer, sich eine Menge anderer Bewegungs- und Steuerungsaufgaben vorzustellen, die aufgestellt und in dem beschriebenen Modell eines sensibilisierten Roboters gelöst werden können; das gleiche gilt für die mannigfaltigen Richtungen seiner weiteren Vervollkommnung und Bereicherung.

Die Anwendung des neuen Sensibilisierungsprinzips für technologische Zwecke

Das Modell des sensibilisierten Roboters bietet sich in erster Linie zur Anwendung als Hilfsmittel von wissenschaftlichen Untersuchungen, deren Ergebnis Empfehlungen zur Herstellung von sensibilisierten Robotern mit mannigfaltiger technologischer Bestimmung sein sollten. Das diesem "Laborroboter" zugrundeliegende Sensibilisierungsprinzip besitzt

jedoch auch einen praktischen Wert.

Es ist z.B. nicht schwer, sich technologische Systeme vorzustellen, die Industrieroboter miteinschließen, welche mittels einer Informationsoberfläche vereinigt sind. In diesem Fall kann die Informationsoberfläche in der Gestalt eines Montagetisches ausgeführt sein, auf dem die Roboter den Zusammenbau irgendeiner Baugruppe durchführen. Ein solcher Tisch kann auch als Zwischenbasis eingesetzt sein, auf die ein Roboter verschiedenartig gestaltete Einzelteile legt, während die anderen Roboter die zur Fortführung des technologischen Prozesses benötigten Teile "auswählen".

Wenn man die Informationsoberfläche als Fließband ausführt, auf das unterschiedliche Einzelteile und Baugruppen mit automatischer Ausstattung gelangen, dann bietet sich die Möglichkeit an, die Roboter zum Herabnehmen von Teilen mit einer vorgegebenen Gestalt von dem beweglichen Objekt einzusetzen.

In all den oben aufgezählten Fällen wird die Lösung eines wichtigen Problem es erreicht, das mit der Ausnahme einer Spezialausrüstung bei Transportoperationen in der Maschinenbauindustrie verbunden ist.

Literatur

- I. АРТОВОЛЕВСКИЙ И.И., КОБРИНСКИЙ А.Е.
Роботы. Машинovedение, 1970, № 5.
Artobolevskij, I.I., Kobrinskij, A.E.: Roboty.
In: Masinovedenie. Moskva, 1970, Nr 5, S. 3 - 11.
Engl. Zusammenfassung unter dem Titel: Robots.
In: Mechanical Science Abstracts. London, 1970, Nr 5,
S. 47 - 48.

2. ИГНАТЬЕВ И.Б., КУЛАКОВ В.М.,
ПОКРОВСКИЙ А.Н. О перспективах постро-
ения манипуляторов, управляемых от
вычислительной машины. Механика
машии, вып. 27-28. М., "Наука",
1970.

Ignat'ev, M.B., Kulakov, F.M., Pokrovskij, A.M.: O perspektivach sozdanija i ispol'zovanija manipuljatorov, upravljajemych ot vyčislitel'nych mašin.

In: Mechanika mašin. Moskva, 27-28(1970), S. 45 - 55.

⟨Über die zukünftige Herstellung und Verwendung von rechnergesteuerten Manipulatoren⟩

3. ЭДЗИРИ М. и др. Интеллектуальный робот, способный "понимать" окружающую обстановку и принимать решения.
В кн.: Интегральные роботы. М., "Мир", 1973.

Edžiri, M. i dr.: Intellektual'nyj robot, sposobnyj "ponimat'" okružajuščuju obstanovku i prinimat' rešenija.

In dem Buch: Integral'nye roboty.

Moskva: Verlag "Mir", 1973.

⟨Ein intelligenter Roboter, der imstande ist, die Umgebung zu "verstehen" und Entscheidungen zu fällen⟩.

4. Ernst, Heinrich A.: MH-1. A Computer-Operated Mechanical Hand.

In: AFIPS Conference Proceedings. Spring Joint Computer Conference. Washington, 21 (1962), S. 39 - 51.

5. McCarthy, J., Earnest, L.D., Reddy, D.R., Vicens, P.J.: A Computer with Hands, Eyes, and Ears.

In: Fall Joint Computer Conference December 9 - 11, 1968, San Francisco, California. AFIPS Conference Proceedings. Washington, 33 (1968), part I, S. 329 - 338.

6. NILLSON N.I. Mobile Automation: An Application of Artificial Intelligence Techniques, Proc. of the Intern. Joint Conf. on Artificial Intelligence, Washington, May, 1969, p. 509-520.

7. Sutro, Louis L., Kilmer, William L.: Assembly of Computers to Command and Control a Robot.

In: Spring Joint Computer Conference, May 14 - 16, 1969, Boston, Massachusetts. AFIPS Conference Proceedings. Montvale, 34 (1969), S. 113 - 137.

Stuttgart, den 22.März 1977

übersetzt von

Ottmar Pertschi
(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer